



рис. 3. Развертка по времени координаты x

По результатам работы можно сделать вывод о том, что восприятие объектов топологически (по их форме) позволяет легче наблюдать перестройки в фазовом пространстве с изменением управляющего параметра. Также можно отметить, что использование компьютерных методов для исследования поведения системы, которые слишком сложны для аналитического исследования, имеют большое значение.

Влияние начального состояния на неравновесные критические характеристики магнитных систем

Лаврухин Иван Владимирович

Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского

Прудников В. В.

jovanni.omsu@gmail.com

В последние годы большой интерес исследователей был связан с изучением неравновесного поведения систем с медленной динамикой [1,2]. В данных системах предсказывались и были выявлены *эффекты старения*, характеризующиеся ростом времени релаксации системы при увеличении промежутка времени, прошедшего с момента приготовления образца до момента измерения его характеристик – времени ожидания («возраста» системы). В неравновесном режиме корреляционная функция и функция отклика характеризуются двухвременной зависимостью от времени наблюдения и времени ожидания, что приводит к нарушению флуктуационно-диссипативной теоремы (ФДТ). К системам с медленной динамикой относятся такие системы, как спиновые стекла, системы вблизи критической точки, испытывающие фазовый переход второго рода, а также мультислойные магнитные сверхструктуры типа Co/Cr [3]. Наше исследование посвящено изучению влияния начального состояния на эффекты старения и нарушения ФДТ в системах при их неравновесном критическом поведении с применением методов ренормгруппы и теоретико-полевого описания.

Для описания неравновесных свойств системы вводится корреляционная функция, характеризующая временные и пространственные корреляции значений параметра порядка $\varphi_i(t)$,

$$C_{i,j}(t,s) = \langle \varphi_i(t) \varphi_j(s) \rangle - \langle \varphi_i(t) \rangle \langle \varphi_j(s) \rangle, \quad (1)$$

и функция отклика, задающая реакцию поля параметра порядка на малое внешнее поле, включенное в момент времени ожидания s ,

$$R_{i,j}(t,s) = \left. \frac{\delta \langle \varphi_i(t) \rangle}{\delta h_j(s)} \right|_{h=0}. \quad (2)$$

Связь этих двух функций определяется флуктуационно-диссипативной теоремой для систем на квазиравновесном этапе их динамики

$$R_{i,j}(t,s) = \frac{1}{T} \frac{\partial C_{i,j}(t,s)}{\partial s}, \quad (3)$$

или флуктуационно-диссипативным отношением (ФДО) на неравновесном этапе эволюции

$$X_{\mathbf{x}}(t, s) = \frac{T R_{\mathbf{x}}(t, s)}{\partial_s C_{\mathbf{x}}(t, s)}, \quad X_{\mathbf{q}}(t, s) = \frac{T R_{\mathbf{q}}(t, s)}{\partial_s C_{\mathbf{q}}(t, s)}. \quad (4)$$

Предельное значение флуктуационно-диссипативного отношения

$$X^{\infty} = \lim_{s, t \rightarrow \infty} X_{\mathbf{x}=0}(t, s) = \lim_{s, t \rightarrow \infty} X_{\mathbf{q}=0}(t, s) \quad (5)$$

становится новой универсальной характеристикой для систем в рамках соответствующих классов универсальности критического поведения.

Начальное состояние параметра порядка, например намагниченность для магнитных систем $\langle \varphi_0(x) \rangle = m_0$, можно учесть, усредняя в формулах (1) и (2) со статистическим весом $\exp(-H_0[\varphi_0])$, где

$$H_0[\varphi_0] = \int d^3x \frac{\tau_0}{2} [\varphi_0(x) - m_0]^2. \quad (6)$$

При этом, для описания системы удобно ввести новую полевую переменную

$$\psi(x, t) = \varphi(x, t) - m(t), \quad (7)$$

которая характеризует локальное отклонение параметра порядка от его среднего значения в системе. Затравочные корреляторы, в таком случае, будут зависеть от приведенной намагниченности

$$R_q^0(t, s) = \theta(t-s) \frac{s}{t} \exp \left\{ -q^2(t-s) - \int_s^t dt' m^2(t') \right\}, \quad (8)$$

$$C_q^0(t, s) = 2 \int_0^{\infty} dt' R_q^0(t, t') R_q^0(t', s), \quad (9)$$

Поправки к среднеполевому значению ФДО, полученному на основе затравочных корреляторов, будут отражать влияние флуктуаций параметра порядка и их сильного взаимодействия, которые могут быть вычислены методами ренормгруппы, примененными к рядам теории возмущений по константе взаимодействия флуктуаций g_0

табл. 1. Сопоставление значений ФДО, рассчитанных при $d=3$ с результатами, полученными методами ε -разложения и Монте-Карло (МК) для высокотемпературного (ВТС) и низкотемпературного (НТС) начальных состояний. Значения, полученные в данной работе, выделены жирным.

| Система / начальное состояние | $d=3$ | ε -разложение | МК |
|---------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Чистая модель Изинга, ВТС | 0.416(29) | 0.429(6) [4] | 0.380(13) [7,8]; 0.390(12) [9] |
| Разбавленная модель Изинга, ВТС | 0.446(59) | 0.416 [5] | 0.413(11) [7,8] 0.415(18) [9] |
| Чистая XY модель, ВТС | 0.400(27) | 0.416(8) [4] | 0.43(4) [11] |
| Чистая модель Гейзенберга, ВТС | 0.386(23) | 0.405(10) [4] | — |
| Чистая модель Изинга, НТС | 0.8 | 0.78 [6] | 0.77(6) [8], 0.784(5) [10] |
| Разбавленная модель Изинга, НТС | ... | — | 0 [10] |

В работе выделены классы универсальности неравновесного критического поведения, характеризующиеся различными начальными значениями параметра порядка и влиянием замороженных дефектов структуры. Проведен анализ влияния флуктуаций параметра порядка и их сильного взаимодействия. Проведены расчеты значений ФДО в рамках ренормгруппового подхода с фиксированной пространственной размерностью системы $d=3$, а также осуществлено сопоставление результатов расчета (Табл. 1) с результатами, полученными ранее другими методами [4-11].

Список публикаций:

- [1] Henkel M., Pleimling M. *Non-Equilibrium Phase Transitions. Springer Series in Theoretical and Mathematical Physics Vol.2* (Springer, Heidelberg, 2010)
- [2] Afzal N., Pleimling M. // *Phys. Rev. E*, 2013, V. 87, P. 012114
- [3] Mukherjee T., Pleimling M., Binek Ch. // *Phys. Rev. B*, 2010, V.82, 134425
- [4] Calabrese P., Gambassi A. // *Phys. Rev. E*, 2002, V. 66, 066101
- [5] Calabrese P., Gambassi A. // *Phys. Rev.*, 2002, V. 66, 212407
- [6] Calabrese P., Gambassi A., Krzakala F. // *J. Stat. Mech.*, 2006, V. 0606, P. 06016
- [7] Прудников В.В., Прудников П.В., Поспелов Е.А. // *Письма в ЖЭТФ*, 2013, Том 98, Вып. 10, с. 693-699
- [8] Prudnikov P.V., Prudnikov V.V., Pospelov E.A. // *Prog. Theor. Exp. Phys.*, 2015, 053A01, P. 1-20.
- [9] Прудников В.В., Прудников П.В., Поспелов Е.А. // *ЖЭТФ*, 2014, Том 145, Вып. 3, с. 462-471
- [10] Прудников В.В., Прудников П.В., Поспелов Е.А., Маляренко П.Н. // *Письма в ЖЭТФ*, 2015, Том 102, Вып. 3, с. 192-201
- [11] Abriet S., Karevski D. // *Eur. Phys. J.*, 2004, V. 41, P. 79-85